



# 山麓冷気流による夏季夜間の市街地熱環境緩和効果に関する研究

竹林, 英樹

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2003-03-11

(Date of Publication)

2007-08-09

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2674

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002674>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 299 】

氏 名 ・ (本 籍) 竹 林 英 樹 ( 大阪府 )

博士の専攻分野の名称 博士 (工学)

学 位 記 番 号 博ろ第255号

学位授与の 要件 学位規則第4条第2項該当

学位授与の 日 付 平成15年3月11日

【 学位論文題目 】

山麓冷気流による夏季夜間の市街地熱環境緩和効果に関する研究

審 査 委 員

主 査 教 授 森 山 正 和

教 授 山 中 大 学

教 授 蔦 原 道 久

教 授 中 山 昭 彦

論文内容の要旨

氏名 竹林 英樹

山麓冷気流による夏季夜間の市街地熱環境緩和効果に関する研究

本研究では、夏季夜間に市街地において冷却効果が期待される冷気流について、森林などでの放射冷却による冷気の生成過程(第2章)、谷地形による冷気の集積過程(第3章)、冷気流よりも大きなスケール(メソスケール)での気象現象(第4章)、メソスケールの現象(海陸風)と冷気流の出現頻度との関係(第5章)、集積された冷気の市街地への流出過程および市街地熱環境緩和効果(第6章)、のそれぞれについて検討を行った。

第1章では、都市スケールの風の場合、温度場に関する研究と冷気流に関する研究及び建築、都市計画への応用についてレビューを行い、本論文の目的と構成を示した。

第2章では、森林などでの放射冷却による冷気の生成過程について検討を行った。植生や地物のどの部分でどの程度の冷気が生成されているのかという点について検討した。

被覆状態の異なる植生面での熱収支を考察し夜間の放射冷却量との関係について検討を行った。樹木、長草、短草ともに植生上端部の葉温が最も低くなっており、放射冷却により温度の低下した植生上端部の葉と顕熱の交換を行うことで、その周辺や上部の気温が低くなっていた。葉面積指数と植生高さを変化させて、夜間の大気冷却量に相当する顕熱輸送量を計算したところ、背の高い樹木の場合には葉面積指数が大きいほど大気が冷却しやすいことが示された。また、背の低い植物の場合には葉が粗であっても効率よく熱交換が出来れば冷却量が若干大きくなった。

第3章では、谷地形による冷気の集積過程について検討を行った。谷内の気温分布がどのように形成されるのかという点について谷筋に沿った気温の測定と浅水方程式モデルにより検討した。

浅水方程式モデルを用いた計算と、谷の中から市街地にかけての気温分布と風向風速の連続測定結果を基に、冷気の集積、流出過程についての検討を行っ

た。浅水方程式モデルにより、広域海陸風が弱い条件での冷気の集積、流出過程について検討を行った結果、地形により冷気が谷筋に集積され、重力に従って標高の低い方へ流出する様子が再現された。谷中の気温を比較すると、広域海陸風の弱い場合には、堰堤で最も低く、中間、上流の順になっており、約2℃の温度差が確認された。これは冷気の集積効果を反映していると考えられる。

以上のことから、神戸のように谷口が市街地に面した都市においては、谷において集積された冷気が流出してくる(最大で2℃程度低温な冷気)ために、比較的大きな市街地気温の低下が期待できる。

第4章では、対象地域を支配する夏季の典型的な風の場合、温度場に関する解析を、観測データとメソスケールの数値シミュレーションを用いて行った。計算モデルには、Mellor-Yamada型の乱流モデルを用い、近畿地方の流れ場、温度場の計算を行った。

計算を行う前に、気象台や大気汚染常時監視局の観測データなどを用いて、境界条件、初期条件について詳細な検討を行い、計算結果と比較する観測データを整備した。

その後、メソスケールの計算を行い、上述の計算条件、観測データに基づく風の場合、温度場の特性などの関係について調査した。典型的な夏季における海陸風循環の様子が再現されており、メソスケールモデルで知ることが出来る地形と土地利用の関係に基づく局地風循環が十分に表現出来ていた。

計算結果からは、気象条件は限定されるが、物理的メカニズムに従った典型的な風、気温の場が得られる。観測結果からは、メソスケールの現象よりも大きなスケールあるいは小さなスケールの影響を含む可能性があるが、統計処理を行うことで夏季の典型的な風、気温の場が得られる。従って本研究では、この2つのデータを併用して都市熱環境に関する考察を行った。メソスケールモデルを気候解析に利用するにあたっては主に以下の点について検討した。

メソスケールモデルの気候解析より、観測データを参考に初期温位の分布や海水面温度などを修正することで、夜間の海風を再現することが出来た。計算結果と観測結果の風速分布の比較では、計算結果が若干山へ向かう風を過大評価する傾向が確認された。ネスティング手法を用いたため、対象とした神戸地域では観測結果と整合のとれた計算結果が得ることができた。そして、計算結果と観測結果から、昼間の南西方向から吹いてくる海風、夜間の六甲山から吹き降りてくる陸風を考慮した都市、建築の計画を行うべきであるとの提言案が導き出された。

第5章では、海陸風と冷気流の関係について検討を行った。海陸風の強さと冷気流の出現状況の関係について観測データに基づいて検討し、以下の結論を得た。

広域海陸風の風速が小さいときに冷気流の出現率が高い。谷口で確認された冷気流の風速は2m/s程度に集中していたが、広域の風が谷から市街地へ向かう条件のときには広域の風により強められて風速は4m/s程度にもなる。広域海陸風が強い場合には、谷の中で生成された冷気は谷底の気温を一時的に低下させるが市街地内の気温を低下させる前に広域の風によって吹き消される。広域海陸風が弱い場合には、谷の中で生成された冷気が市街地内で熱交換を行いながら徐々に気温を低下させる。ただし、山から離れると気温低下の効果は小さく、その時間もかなり遅れる。

以上のことから、広域海陸風が弱い条件に限り、山際から1km程度までの市街地において冷気流による気温低下効果を期待できる。しかし、山から離れるとその可能性は低くなり、広域の風が強くなると冷気流は吹き消され、市街地での気温低下効果は期待できなくなる。

第6章では、集積された冷気の市街地への流出過程について検討を行った。谷に集積された冷気が市街地へ流出し、どの程度の距離まで影響を及ぼし、どの程度気温を低下させるのかという点について検討した。

実測結果より、地上4.0m、1.5mの気温及び地表面温度の観測結果を比較すると、昼間の日射の蓄熱の影響で地表面温度がどの時間帯においても気温より高く保たれており、市街地へ流入している冷気流は文字通り市街地を冷却する能力を持っていると考えられる。谷口周辺市街地の気温は時間とともに徐々に低下し、朝方には対象地域内の気温がほぼ一様になった。このことより、朝方には冷気が領域内を満たしていたと考えられる。気温分布のパターンは時間帯によってあまり変化せず、川沿い地域において周辺市街地より常に低温である傾向であった。川沿い地域では北風の風速が大きいことから、冷気流が流れ込みやすくなっており、冷気流の流入に伴う気温低下の効果が大きく表れていると考えられる。

計算結果は、地表面温度分布の影響を受けて、川沿いの地域において気温が低下し、南部の密集市街地において高温となり、気温分布の傾向は観測結果とよく一致した。計算結果の対象領域内での気温の幅はほぼ観測結果と一致した。風ベクトルの分布は、地上1.5mの観測結果は建築物等の障害物による局所的な影響を受けているのに対し、計算結果はある程度なめらかな粗度分布に応じた平均的な風ベクトル分布になっているため、十分に一致しているとは言えない。今後は、気温と同様に局所的な影響を受けにくい高さでの測定法を検討する必要があるだろう。市街地の上流側の粗度を小さく設定した計算では、粗度が小さくなり熱伝達率が小さくなったため、高温な地表面から空気への熱の輸送が小さくなり、その部分の気温が若干低下した。しかしながら、粗度の大きな市街地部ではすぐに高温になり、劇的な熱環境の改善は見られなかった。

また、土地利用別に地表面の熱収支を計算した結果、顕熱が計算領域内で正と負の値を持つため、冷気流は地表面の条件によって冷気を供給している場合（市街地に対して）と、逆に高温な熱を供給している場合（森林部に対して）があることが示された。

今後の課題としては、市街地内において冷気流を有効に利用する都市計画的及び建築的方法について検討する必要があると思われる。

氏名	竹林英樹		
論文題目	山麓冷気流による夏季夜間の市街地熱環境緩和効果に関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	森山正和
	副査	教授	山中大学
	副査	教授	薦原道久
	副査	教授	中山昭彦

## 要旨

都市のヒートアイランド現象は都市化による地表面の改変と人為的なエネルギー消費が大きな原因と考えられている。その影響は多岐にわたるが、人の健康との関係では熱帯夜日数の増加に表されるように、夏季夜間の気温が低下しない現象が密接に関わっており、夜間気温の低下をもたらすような対策が大変重要であると考えられる。本研究は、夏季夜間に谷や山の斜面から吹き降ろされる冷気流が、山麓に隣接する市街地の熱環境を緩和する効果に着目して行った研究である。

第1章では、都市スケールの風の場、温度場に関する研究、冷気流に関する研究、及び建築計画、都市計画への応用的な研究についてレビューを行い、本論文の目的と構成を示している。

第2章では、植生を樹木、長草、短草に分け、それぞれの地表面における熱収支に関する測定結果を考察し、放射冷却による冷気の生成過程に関する研究を行っている。放射冷却により温度の低下した植生上端部の葉と周囲空気が顕熱の交換を行うことで上端部葉の周辺やその上部の気温が低くなるメカニズムを明らかにしている。顕熱輸送量は大気冷却量にほぼ等しいと考えられ、葉面積指数と植生高さを変化させた計算から考察すると、背の高い樹木の場合には葉面積指数が大きいほど大気は冷却されやすく、背の低い植生の場合には葉が粗であっても効率よく熱交換ができれば冷却量は若干大きくなることを示した。

第3章では、谷筋に沿った気温の測定と谷口（堰堤）における風向風速の連続測定、及び浅水方程式モデルにより谷地形における冷気の集積過程について研究している。広域海陸風が弱い条件下での冷気の集積、流出過程について浅水方程式モデルによる計算結果は、地形により冷気が谷筋に集積され、重力に従って標高の低い方へ流出する様子が再現されている。測定結果によれば、広域海陸風の弱い場合には、気温は谷口で最も低く、上流と谷口では最大で約2℃の温度差が認められ、冷気の集積効果が定量的に観測されている。神戸のように谷口が市街地に面した都市においては、谷において集積された冷気が流出し、比較的大きな市街地気温の低下効果が期待できることを示した。

第4章では、観測データと Mellor-Yamada 型の乱流モデルを使用したメソスケールの数値シミュレーションを用いて、近畿地方を支配する夏季の典型的な風の場、温度場に関する解析を行っている。計算を行う前に、気象台や大気汚染常時監視局の観測データなどを用いて、境界条件、初期条件について詳細な検討を行うとともに、計算結果と比較するための観測データを整備している。その後メソスケールの計算を行い、上述の計算条件、観測データに基づく風の場、温度場の特性などと計算結果との関係について解析している。その結果、夏季の典型的な海陸風循環が再現され、メソスケールモデルで知ることが出来る地形と土地利用との関係に基づく局地風循環を表現することが可能になっている。計算結果からは物理的メカニズムに従った典型的な風及び気温の場が得られ、観測結果からは統計処理を行うことで夏季の典型的な風及び気温の場が得られ、計算と観測の2つのデータを併用して都市熱環境に関する考察を行っている。観測データを参考に初期温度の分布や海面温度などを修正することで、夜間の海風を再現することが出来、計算結果と観測結果の風速分布の比較では、計算結果が若干山へ向かう風を過大評価する傾向が確認されている。また、ネスティング手法により神戸地域の特徴を検討し、観測結果と整合のとれた計算結果が、昼間の南西方向から吹いてくる海風、夜間の六甲山から吹き降りてくる陸風を考慮した都市、建築の計画を行うべきであるとの提言案が導き出されている。

氏名 竹林英樹

第5章では、海陸風の強さと冷気流の出現状況との関係について、観測データに基づいて研究している。広域海陸風の風速が弱いときには冷気流の出現率が高く、谷口で確認された冷気流の風速は2m/s程度に集中していたが、広域の風が谷から市街地へ向かう条件のときには広域の風により強められて風速は4m/s程度にもなることが明らかにされている。広域海陸風が強い場合には、谷の中で生成された冷気は谷底の気温を一時的に低下させるが市街地内の気温を低下させる前に広域の風によって平均化され消滅すること、広域海陸風が弱い場合には、谷の中で生成された冷気が市街地内で熱交換を行いながら徐々に気温を低下させることが示されている。以上のように、広域海陸風が弱い条件の場合に山際から1km程度までの市街地において冷気流による気温低下効果を期待できると結論づけている。

第6章では、谷に集積された冷気が市街地へ流出した時の、その影響距離と気温低下効果について研究している。京都市北区賀茂川上流域における夏季の実測結果によれば、気温分布のパターンは時間帯によってあまり変化せず、川沿い地域において周辺市街地より常に低温であることが確認されている。これは、川沿い地域では谷口からの風速が大きくなっており、川に沿った冷気流の流入に伴う気温低下の効果である。k-ε型2方程式モデルによる計算結果によれば、地表面温度分布の影響を受けて、川沿いの地域において気温が低下し、密集市街地において高温となり、気温分布の傾向は観測結果とよく一致していることを確認している。市街地の上流側の粗度を小さくし冷気流が流れやすいと想定した計算では、粗度が小さくなり熱伝達率が小さくなったため、高温な地表面から大気への顕熱輸送量が小さくなり、その部分の気温は若干低下するが、粗度の大きな市街地部ではすぐに高温になり、市街地熱環境の改善に大きな効果をもたらすと言えるほどではないことも示している。土地利用別に地表面の熱収支を計算して考察すると、顕熱が計算領域内で正と負の値を持つため、冷気流は地表面の条件によって冷気を供給している場合（市街地に対して）と、逆に高温な熱を供給している場合（森林部に対して）があることを示している。

第7章は、以上の知見を総括したものである。

以上、本研究は、山麓冷気流による夏季夜間の市街地熱環境緩和効果について、その冷気流の生成・集積過程及び市街地への流出について研究したものであり、冷気流による市街地熱環境の緩和効果について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者 竹林英樹は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。